

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

•

— •

*(continued)*



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

密閉可能な 体と、

前記 体内に配置され、基板を載置する載置台と、

前記 体内にガスを供給するガス供給口と、

前記 体内のガスを排気するガス排気口と、

前記載置台上に載置された基板の表面を加熱する加熱手段と、

を、備えることを特徴とする薄膜形成装置。

## 【請求項2】

前記加熱手段は、前記基板の表面に、光を照射することを特徴とする請求項1に記載の薄膜形成装置。 10

## 【請求項3】

前記加熱手段は、数ミリ秒以下の時間で前記基板の表面を加熱することを特徴とする請求項1または2に記載の薄膜形成装置。

## 【請求項4】

前記加熱手段は、フラッシュランプを含むことを特徴とする請求項1から3のいずれかに記載の薄膜形成装置。

## 【請求項5】

基板の載置された 体内に、薄膜を形成するための原料ガスを供給するガス供給工程と、

前記基板の表面を加熱する加熱工程と、

を、備えることを特徴とする薄膜形成方法。 20

## 【請求項6】

前記加熱工程は、前記基板の表面に、光を照射することにより行うことを特徴とする請求項5に記載の薄膜形成方法。

## 【請求項7】

前記加熱工程における加熱時間は、数ミリ秒以下であることを特徴とする請求項5または6に記載の薄膜形成方法。

## 【請求項8】

前記加熱工程は、フラッシュランプを用いて行うことを特徴とする請求項5から7のいずれかに記載の薄膜形成方法。 30

## 【請求項9】

前記薄膜形成方法において、少なくとも2以上の元素を含む化合物薄膜を形成する場合において、

前記ガス供給工程は、

前記元素のうち1の元素を含む第一の原料ガスを供給する第一ガス供給工程と、

前記元素のうち他の元素を含む第二の原料ガスを供給する第二ガス供給工程と、

を含み、

前記加熱工程は、第二ガス供給工程の後に行われることを特徴とする請求項4から7のいずれかに記載の薄膜形成方法。

## 【発明の詳細な説明】 40

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

この発明は、薄膜形成装置及び薄膜形成方法に関する。さらに具体的には、基板に高誘電体薄膜を形成する際に用いる薄膜形成装置及び薄膜形成方法に関するものである。

## 【0002】

## 【従来の技術】

近年、半導体集積回路の高集積化、微細化が進んでいるが、この高集積化、微細化の推進のためには、MOSトランジスタの微細化が必須である。例えば、基本デザインが90nmである90nmノードと呼ばれる技術においては、MOSトランジスタのゲート長は、およそ65nm程度となっている。このように、微細化の進むトランジスタに対応しつつ 50

、その性能向上を図る上では、微細化と並行して、各部の薄膜化を図らなければならない。従って、ゲート絶縁膜にも、薄膜化が望まれている。

【0003】

現在、ゲート絶縁膜としては、一般には、シリコン酸化膜が用いられている。しかし、シリコン酸化膜は、膜厚が2nm以下となると、直接トンネル電流が増大し、素子の消費電力の著しい増大を招く。従って、従来のシリコン酸化膜を、微細化するトランジスタのゲート酸化膜として用いることはできない。

【0004】

そこで、シリコン酸化膜に代えて、高誘電体材料を用いた薄膜をゲート絶縁膜として用いる研究が進められている。高誘電体薄膜を用いると、物理的膜厚を厚くしつつ電氣的膜厚を薄くすることができる。トンネル電流は、物理的膜厚に指数関数的に依存するため、物理的膜厚を厚くすることができれば、トンネル電流を抑制することができる。

【0005】

このような、高誘電体材料を用いた薄膜形成には、一般に、ALD (Atomic Layer Deposition: 原子層制御気相化学成長) 法が用いられている。この方法は、チャンパー内に、薄膜形成の原料となる元素を含むガスを流入させて、薄膜を形成するものである。

【0006】

具体的には、例えば、酸化アルミニウム膜を形成する場合について説明する。まず、載置台に基板を載置する。その後、チャンパー全体を排気し、アルゴンガスを流入させ、チャンパー内の圧力を0.2Torrに保つ。この状態で、チャンパー内に、TMA (トリメチルアルミニウム) を1秒間流入させた後、数秒間排気する。続けて、チャンパー内に、水蒸気を3秒間流入させた後、排気する。このようなTMAと水蒸気との流入、排気を数十回繰り返すことにより、基板表面に、膜厚数nmの酸化アルミニウム膜が形成することができる (例えば、特許文献1参照)。

【0007】

しかし、ALD法により形成された高誘電体薄膜には、一般に、数%程度の不純物が含まれる。例えば、上述の酸化アルミニウム膜の場合には、不純物として、炭素と水素が含まれる。また、例えば、酸化ハフニウム膜の場合、原料ガスとして、 $\text{HfCl}_4$ を用いるため、不純物として塩素が残留する。このような不純物の残留は、固定電荷やトラップの原因となり、膜の性質が損なわれてしまう。

【0008】

【特許文献1】

特開2001-355070号公報

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

以上説明したように、ゲート絶縁膜として、シリコン酸化膜の代わりに高誘電体薄膜を用いることにより、トンネル電流を抑えることができる。しかし、従来のALD法による薄膜の形成方法では、薄膜内に、不純物が残留してしまうため、膜の性質が損なわれてしまうことが考えられる。従って、薄膜内の不純物を抑えることが必要となる。

【0010】

従って、この発明は、不純物濃度の低い高誘電体薄膜を形成することを目的として、改良した高誘電体薄膜の形成方法及び薄膜形成装置を提案するものである。

【0011】

【課題を解決するための手段】

従って、この発明の薄膜形成装置は、密閉可能な 体と、

前記 体内に配置され、基板を載置する載置台と、

前記 体内にガスを供給するガス供給口と、

前記 体内のガスを排気するガス排気口と、

前記載置台上に載置された基板の表面を加熱する加熱手段と、

を、備えるものである。

10

20

30

40

50

## 【0012】

あるいは、また、この発明の薄膜形成方法は、基板の載置された体内に、薄膜を形成するための原料ガスを供給するガス供給工程と、前記基板の表面を加熱する加熱工程と、を備えるものである。

## 【0013】

## 【発明の実施の形態】

以下図面を参照して、この発明の実施の形態について説明する。なお、各図において、同一または相当する部分には同一符号を付してその説明を省略ないし簡略化する。

## 【0014】

## 実施の形態

図1は、この発明の実施の形態における薄膜形成装置を説明するための模式図である。

図1に示すように、薄膜形成装置100は、真空チャンパー2を備える。

## 【0015】

チャンパー2内中央には、載置台4が配置されている。載置台4内部には、載置台4を、下方から所定の温度に加熱するヒーター6が備えられている。

## 【0016】

また、載置台4の上方には、チャンパー2の外壁の一箇所を貫通するように、ガス供給管8が設けられている。即ち、ガス供給管8は、チャンパー2外部から、内部に通じ、これにより、チャンパー2内に外部からガスを供給することができる。また、ガス供給管8は、載置台4を取り囲むように配置されている。ガス供給管8には、複数の噴出口10が設けられている。ガス供給管8から供給されたガスは、この噴出口10から、チャンパー2内に噴出するようになっている。

## 【0017】

チャンパー2の下方の外壁を貫通するように、計2つのガス排気口12が設けられている。ガス排気口12は、チャンパー2内部から、外部に通じ、バルブ14を介して、真空ポンプに接続されている。これにより、チャンパー2内のガスを外部に排気することができる。

## 【0018】

チャンパー2の上面の載置台4に対抗する部分は、石英窓20により形成されている。石英窓20の上部には、合計50本のフラッシュランプ22が配置され、フラッシュランプ22は、反射板24で覆われている。またフラッシュランプ22は、コンデンサー26に接続され、コンデンサー26は、電源28に接続されている。

## 【0019】

このようにして、薄膜形成装置100においては、フラッシュランプ22から発射される光をチャンパー2内に導入するため、チャンパー2の天井部は、光を透過する石英窓20によって形成されている。また、反射板24は、フラッシュランプ22から、チャンパー2とは反対側（図1においては上方）に向けて発射した光を、チャンパー2側に向けて反射させて、チャンパー2内に導入するために設けられている。また、電源28からの電流は、コンデンサー26に充電され、この充電された電荷を一瞬にして放電することにより、フラッシュランプ22が発光するようになっている。

## 【0020】

また、この実施の形態では、上述のように構成された薄膜形成装置100により薄膜を形成する基板として、載置台4の上部に、ウェーハ30が載置される。

## 【0021】

図2は、この発明の実施の形態における薄膜形成方法を説明するためのフロー図であり、図3は、この発明の実施の形態の薄膜形成方法におけるシーケンスを説明するためのグラフである。

以下、図1～図3を用いて、この発明の実施の形態における薄膜形成方法を説明する。

## 【0022】

10

20

30

40

50

まず、載置台にウェーハ30を載置した状態で、載置台4を加熱する（ステップS2）。ここでは、ヒーター6により加熱を行い、載置台4の温度を300度とし、これにより、ウェーハ30の温度を300度に保つ。次に、チャンパー2内のガスを排気する（ステップS4）。排気は、バルブ14を開放し、ガス排気口12から、真空ポンプにより、チャンパー2内の圧力が $10^{-7}$  Torrとなるまで行う。その後、アルゴンガスを、チャンパー2に供給する（ステップS6）。アルゴンガスは、ガス供給管8から供給し、噴出口10から、チャンパー2内に噴出させる。また、チャンパー2内の圧力は、0.2 Torrに固定する。

#### 【0023】

チャンパー2をこのような状態にした後、原料ガスの導入を開始する。

10

図8を参照して、まず点A<sub>1</sub>において、TMA（トリメチルアルミニウム）の供給を開始する（ステップS10）。TMAは、ガス供給管8から供給し、噴出口10から、チャンパー2内に噴出させる。また、TMAの供給は、2 S c c mで、1.5秒間行い、1.5秒経過後の点B<sub>1</sub>において、供給を終了する（ステップS12）。

#### 【0024】

続けて、チャンパー2内のガスの排気を開始する（ステップS14）。チャンパー2内のガスは、バルブ14を開放することにより、排気口12から、真空ポンプによって、5秒間排気され、5秒経過後の点C<sub>1</sub>において、排気を終了する（ステップS16）。

#### 【0025】

その後、水蒸気の供給を開始する（ステップS18）。水蒸気も、TMAと同様に、ガス供給管8から供給し、噴出口10から、チャンパー2内に噴出させる。水蒸気の供給は、5 S c c mで、2秒間行い、2秒経過後の点D<sub>1</sub>において、供給を終了する（ステップS20）。

20

#### 【0026】

続けて、チャンパー2内のガスの排気を開始する（ステップS22）。排気は、TMA供給後の排気と同様に、バルブ14を開放し、排気口12から真空ポンプにより行う。

#### 【0027】

排気を開始して6秒経過後の点E<sub>1</sub>において、フラッシュランパ22の発光を行う（ステップS24）。発光するフラッシュランパ22のエネルギーは、 $15 \text{ J} / \text{cm}^2$ とする。フラッシュランパ22の発光時間は、数ミリ秒単位の極短時間であり、これにより、瞬間的に、ウェーハ30の表面のみが加熱される。

30

#### 【0028】

排気開始から8秒経過後の点A<sub>2</sub>において、チャンパー2内の排気を終了する（ステップS26）。その後、続けて、TMAの導入を開始し（ステップS10）、ステップS10～S26の工程を繰り返す。

#### 【0029】

このようにして、TMAの導入（ステップS10、S12）、排気（ステップS14、S16）、水蒸気の導入（ステップS18、S20）、排気（ステップS22、S26）、及び、排気中のフラッシュランパの発光（ステップS24）を繰り返して100回行った後、薄膜の形成を終了する。これにより、ウェーハ30上には、膜厚90 nmの酸化アルミニウム膜を形成することができる。

40

#### 【0030】

ここで、形成された酸化アルミニウム膜と、従来の技術、即ち、原料ガスの供給、排気のシーケンスを同じにしてフラッシュランパ22による加熱を行うことなく形成された酸化アルミニウム膜とを2次イオン質量分析器を用いて比較したところ、薄膜内の残留炭素の量は、1/10程度に低下していることがわかった。

#### 【0031】

これは、フラッシュランパによる加熱であれば、ミリ秒単位の加熱であるため、瞬間的にウェーハ30の表面を上昇させて、反応を加速することができ、また、直ちに本来のウェーハ30の温度に低下させることができるためであると考えられる。

50

## 【0032】

これに対して、従来のALD法による場合、原料ガスを供給した後、水蒸気などの酸化性ガスを供給して酸化反応を起こす。しかし、このとき、ウェーハの温度が低く、また反応時間を十分に長く取っていないため、酸化反応が完全に進まない。これが、膜中に不純物が残留する原因であると考えられる。

## 【0033】

しかし、ALD法では、膜の反応速度が遅いため、生産性を考慮すると、反応時間を十分に取ることができない。

## 【0034】

また、化学反応速度が温度の指数関数であることは、反応速度論の教えるところであるから、温度を上げて、反応速度を速くすることが考えられる。しかし、従来のALD法に用いる装置において、単にウェーハの温度を高くすると、原料ガスを供給しただけで分解が開始してしまうことが考えられる。例えば、高い基板温度で、TMAを供給すれば、それ自体が分解して、炭素を含有した金属アルミニウム膜が形成されてしまう。即ち、水蒸気などの酸化剤供給前に、分解してしまうことが考えられる。従って従来のALDでは、温度を高くすることができない。

## 【0035】

しかし、上述したこの実施の形態における薄膜形成によれば、フラッシュランプ22により、ミリ秒単位の加熱を行うことができ、瞬時的に、ウェーハ表面温度を上昇させて反応速度を加速することができる。また、極めて短時間のウェーハ30表面のみの加熱であるため、直ちに本来のウェーハ温度に戻すことができる。従って、次のサイクル（ステップS10～S24）も、本来のウェーハ温度で行うことができる。これにより、不純物濃度が低く、特性の良好な高誘電体薄膜を形成することができる。

## 【0036】

なお、この実施の形態においては、フラッシュランプ22を50本配置する場合について説明したが、この発明の薄膜形成装置においては、フラッシュランプを50本用いるものに限るものではない。さらに、この実施の形態においては、加熱手段として、フラッシュランプ22を用いた。しかし、この発明において加熱手段は、フラッシュランプに限るものではなく、基板の表面を適切に加熱することができるものであれば、他の手段であってもよい。

## 【0037】

また、この実施の形態においては、チャンパー2の上部を石英窓20とし、フラッシュランプ22からの光を透過させてチャンパー2内の基板に照射した。また、フラッシュランプ22上部には、反射板24を設けて、フラッシュランプ22から上方への光を反射させてチャンパー2に照射する場合について説明した。しかし、この発明において、薄膜形成装置の構成はこのようなものに限らず、例えば、フラッシュランプ22を直接チャンパー2内に設置するなど、他の構成であってもよい。

## 【0038】

また、この実施の形態においては、ガス供給管8に噴出口10を設けてガスを供給し、また、ガス排気口12に、バルブ14を介して、真空ポンプを設けてガスを排気する場合について説明した。しかし、この発明の薄膜形成装置はこのような構成の装置に限るものではなく、チャンパー2内部に適切にガスを供給し、内部のガスを適切に排気できるものであれば、他の構成によるものであってもよい。

## 【0039】

また、この発明における薄膜形成装置の他の構成も、この実施の形態において説明した構成に限るものではなく、基板の表面を適切に加熱し、反応を促進できるものであれば、他の構成であってもよい。

## 【0040】

また、この実施の形態においては、酸化アルミニウム膜を形成する場合について説明した。しかし、この発明は、酸化アルミニウム膜に限るものではなく、例えば、酸化ハフニウ

10

20

30

40

50



ム膜など、他の高誘電体薄膜を形成する場合にも用いることができる。高誘電体薄膜として検討する材料としては、例えば、Hf、Zr、La系金属酸化物や、 $Ta_2O_5$ 、 $TiO_2$ など、多岐に渡る。

【0041】

なお、この発明において、加熱手段には、例えば、この実施の形態におけるフラッシュランプ22が該当する。また、体には、例えば、チャンバー2が該当し、基板には、例えば、ウェーハ30が該当する。また、ガス供給口には、例えば、ガス供給管8あるいは、噴出口10が該当し、ガス排気口には、例えば、ガス排気口12が該当する。

【0042】

また、例えば、この実施の形態において、ステップS10～S12、あるいは、ステップS16～S18を実施することにより、この発明のガス供給工程が実施され、ステップS22を実施することにより、この発明の加熱工程が実施される。 10

【0043】

また、この発明における、第一、第二の原料ガスには、例えば、この実施の形態のTMA、水蒸気がそれぞれ該当する。また、例えば、実施の形態のステップS10～S12を実行することにより、第一ガス供給工程が実行され、ステップS16～S18を実行することにより、第二ガス供給工程が実行される。

【0044】

【発明の効果】

以上説明したように、この発明によれば、薄膜を形成する原料ガスを供給した後、基板の表面を、短時間加熱することができる。従って、瞬間的に基板表面の温度を上昇させて、反応を加速することができる。また、表面のみの温度上昇であるため、直ちに元の温度に戻すことができる。即ち、基板表面の温度のみを瞬時に上昇させ、原料ガスの反応促進を図ることができる。一方、基板の温度はすぐに元に戻すことができるため、本来の温度を保ちながら、薄膜形成のための原料ガス供給、反応、排気、のサイクルを繰り返すことができる。従って、処理速度を低下させることなく、残留不純物濃度が低く、特性の良い高誘電体薄膜を形成することができる。 20

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施の形態における薄膜形成装置を説明するための模式図である。

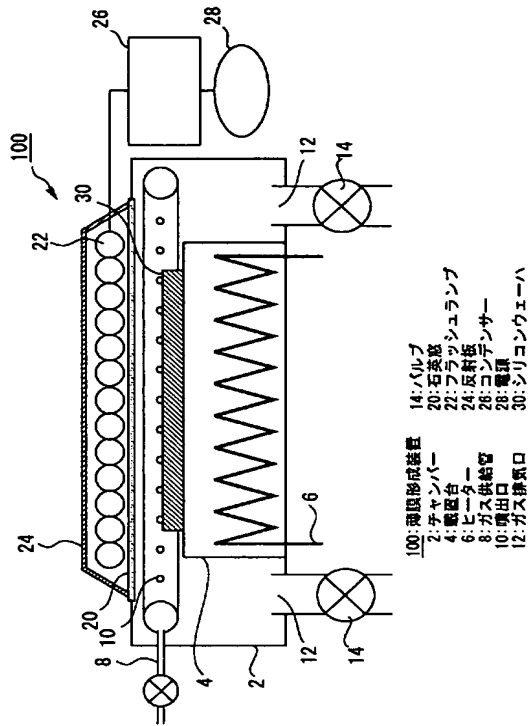
【図2】この発明の実施の形態における薄膜形成方法を説明するためのフロー図である。 30

【図3】この発明の実施の形態における薄膜形成方法のシーケンスを説明するためのグラフである。

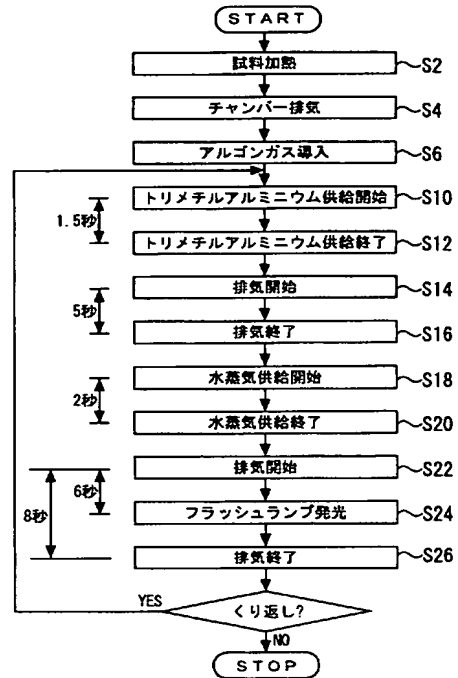
【符号の説明】

- 100 薄膜形成装置
- 2 チャンバー
- 4 載置台
- 6 ヒーター
- 8 ガス供給管
- 10 噴出口
- 12 排気口
- 14 バルブ
- 20 石英窓
- 22 フラッシュランプ
- 24 反射板
- 26 コンデンサー
- 28 電源
- 30 ウェーハ

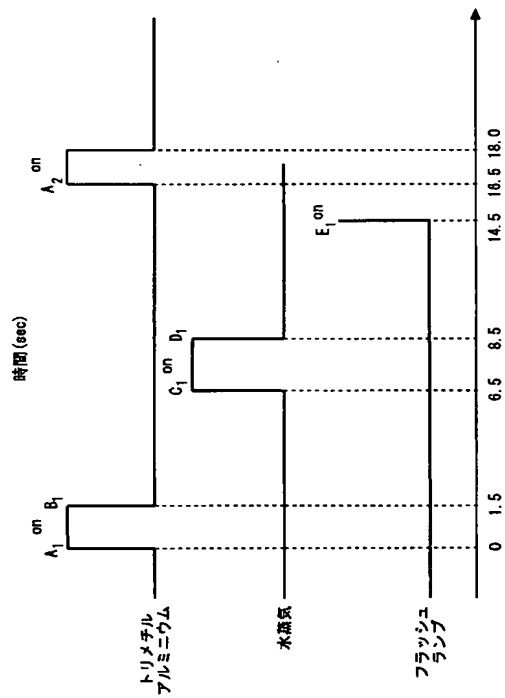
【図 1】



【図 2】



【図 3】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F045 AB31 BB09 DP04 EB02 EK12 EK28 EK29  
5F058 BC03 BF04 BG03